

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/000759

International filing date: 26 January 2005 (26.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 004 765.0  
Filing date: 29 January 2004 (29.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 24 March 2005 (24.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

08.03.2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 004 765.0

**Anmeldetag:** 29. Januar 2004

**Anmelder/Inhaber:** RWE Space Solar Power GmbH,  
74072 Heilbronn/DE

**Bezeichnung:** Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur

**IPC:** H 01 L 27/15

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 9. Februar 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag



Hoiß

RWE Space Solar Power GmbH  
Theresienstraße 2

74072 Heilbronn

5 Beschreibung

Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur

10

Die Erfindung bezieht sich auf eine aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach dem Oberbegriff des Anspruch 1 sowie auf ein Verfahren zur Herstellung einer solchen. Ferner bezieht sich die Erfindung auf einen Mischfarben-Sensor sowie auf ein die aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur enthaltendes Farbdisplay.

15

Eine lichtemittierende Halbleitereinrichtung der oben genannten Art ist aus der WO 99/57788 bekannt. Dort wird eine zweifarbige Lichtemissions-Halbleitereinrichtung beschrieben, die zwischen ihrer Vorderseite und ihrer Rückseite eine erste oberflächenemittierende Lichtemissionsdiode mit einer ersten aktiven Zone, welche die Strahlung einer ersten Wellenlänge emittiert und einer zweiten oberflächenemittierenden Lichtemissionsdiode mit einer zweiten aktiven Zone, welche die Strahlung einer zweiten Wellenlänge emittiert, wobei zwischen beiden aktiven Zonen eine erste Reflektionsschicht angeordnet ist, die für die ersten Wellenlänge reflektierend und für die zweite Wellenlänge durchlässig ist. Ferner ist vorgesehen, dass zwischen der zweiten aktiven Zone und der Rückseite eine zweite Reflektionsschicht angeordnet ist, die für die zweite Wellenlänge reflektierend ist. Die Reflektionsschichten bewirken eine bessere Ausnutzung des in Richtung auf die Rückseite aufgestrahlten Lichtes beider Dioden und sind vorzugsweise aus einem Mehrfach-

schichtsystem aus Schichten mit abwechselnd hohem und niedrigem Brechungsindex gebildet, wobei die Schichten vorzugsweise aus einem Gitter angepassten Halbleitermaterial aufgebaut sind.

- 5 Bei der bekannten Halbleitereinrichtung sind die aktiven Zonen auf zwei gegenüberliegenden Oberflächen eines Substrates aufgebracht, so dass eine von der unteren aktiven Zone emittierte Lichtstrahlung das Substrat sowie zumindest eine Reflektionsschicht durchqueren muss, wodurch optische Verluste möglich sind. Des Weiteren sind mit der bekannten Lichtemissionshalbleitereinrichtung lediglich zwei Lichtstrahlungen erzeugbar. Dem Ein-
- 10 satz als Farbdisplay sind damit Grenzen gesetzt.

- Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, eine aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur sowie ein Verfahren zur Herstellung einer solchen derart weiterzubilden, mit der die Nachteile des Standes der Technik behoben werden. Ins-
- 15 besondere soll eine lichtemittierende Halbleitereinrichtung sowie ein Verfahren zur Herstellung einer solchen derart weitergebildet werden, dass die Lichtausbeute verbessert, das Herstellungsverfahren vereinfacht und mehrere Photonen-Emissions-Peaks unterschiedlicher Wellenlänge innerhalb eines Halbleitermaterials erzeugbar sind.

- 20 Das Problem wird erfindungsgemäß u. a. durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

- Mit der erfindungsgemäßen lichtemittierenden Halbleitereinrichtung, die auch als Multi-Wavelength-Diode bezeichnet werden kann, können mehrere Photonen-Emissions-Peaks
- 25 unterschiedlicher Wellenlänge innerhalb eines Chips erzeugt werden. Das Prinzip beruht darauf, dass auf einem geeigneten Substrat epitaktische Halbleitermaterialien aufgewachsen werden. Die lichtemittierenden, als pn- oder np-Übergänge ausgebildeten aktiven Zonen werden in dem Chip von unten nach oben seriell verschaltet. Dabei erfolgt die Verschaltung epitaktisch über Trennschichten wie beispielsweise Trenndioden, die als nieder-
- 30 ohmige Widerstände verwendet werden. Diese Trenndioden bestehen aus einem np- oder pn-Übergang, an dem eine nur sehr geringe entgegengerichtete Spannung abfällt. Eine al-

ternative Ausführungsform sieht vor, dass als Zwischenschicht ein leitfähiger, z. B. metallischer Kontakt für die serielle Verschaltung eingesetzt ist.

5 Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen –für sich und/oder in Kombination-, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von den Zeichnungen zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

10

Fig. 1a, b einen schematischen Aufbau einer Zwei-Peak-Diode mit zugehöriger Wellenlängen-Intensitätsverteilung ,

15

Fig. 2 eine Übersicht über Materialeigenschaften verschiedener Halbleitermaterialien,

Fig. 3a, b eine beispielhafte Bandemissionsdiode mit zugehöriger beispielhafter Wellenlängen-Intensitätsverteilung

20

Fig. 4a, b die beispielhafte Bandemissionsdiode gemäß Fig. 3 mit einer zwischen einer aktiven Zone und einer Trenndiode angeordneten Absorptionsschicht und beispielhaften Wellenlängen-Intensitätsverteilung,

25

Fig. 5 einen schematischen Aufbau einer beispielhaften Mehrfach-Wellenlängen-Diode mit explizit ansteuerbaren aktiven Zonen,

Fig. 6a, b einen schematischen Aufbau einer beispielhaften Mischfarben-Leuchtdiode (braun) mit beispielhafter Wellenlängen-Intensitätsverteilung,

30

Fig. 7a, b einen beispielhaften schematischen Aufbau einer Mischfarben-Leuchtdiode (weiß) mit beispielhafter Wellenlängen-Intensitätsverteilung, .

Fig. 8a, b einen schematischen Aufbau eines beispielhaften Mischfarben-Sensors mit zugehöriger Wellenlängen-Intensitätsverteilung,

5 Fig. 9a, b einen schematischen Aufbau einer beispielhaften Mehrfach-Peak-Leuchtdiode mit Trenndioden-Kontakten bzw. Metallkontakten und beispielhaften Wellenlängen-Intensitätsverteilung,

Fig. 10 einen schematischen Aufbau einer Halbleiterstruktur mit getrennt ansteuerbaren Diodenaufbauten,

10

Fig. 11 einen schematischen Aufbau einer Halbleiterstruktur mit getrennt ansteuerbaren Diodenaufbauten und

Fig. 12 einen schematischen Aufbau eines Farbdisplays.

15

Fig. 1 zeigt einen schematischen Aufbau einer aktive Zonen AZ aufweisenden Halbleiterstruktur 10, die als Zwei-Peak-Leuchtdiode bezeichnet werden kann. Die Zwei-Peak-Diode 10 umfasst ein Substrat SUB, welches beispielsweise aus GaAs- oder Ge-Material besteht. Eine untere Oberfläche 12 des Substrates SUB ist mit einem metallischen Kontakt K1 versehen, wobei auf einer oberen Oberfläche 14 eine erste (untere) aktive Zone AZ1 als beispielsweise GaAs-Diode aufgewachsen ist. Über der unteren aktiven Zone AZ1 ist eine Trennschicht TD1 als Trenndiode beispielsweise GaInP-Trenndiode angeordnet, die eine Dicke im Bereich von ca. 40 nm aufweist. Diese Trenndiode TD dient und wirkt wie ein als niederohmiger Verbindungswiderstand für die serielle Verschaltung der als pn-Übergang ausgebildeten unteren aktiven Zonen AZ1. Über die Tunneldiode TD wird eine weitere, obere aktive Zone AZ2 gewachsen, die beispielsweise als GaInP-Diode ausgebildet ist. Der Fig. 1b ist eine beispielhafte spektrale Verteilung zu entnehmen, wobei ein erster Peak 16 im Bereich der Wellenlänge 680 nm liegt (GaInP) und ein zweiter Peak 18 im Bereich der Wellenlänge 870 nm (GaAs).

20

Die für den Aufbau der erfindungsgemäßen Halbleitereinrichtung verwendeten Halbleitermaterialien werden vorzugsweise nach folgenden Kriterien bestimmt:

- epitaktisches Wachstum auf dem Substrat SUB wird ermöglicht,
- geeignete Bandlücke und geeignetes Dotierniveau, welches die gewünschte Emissionswellenlänge erzeugt,
- 5 - Der unterste pn-Übergang AZ1 weist die kleinste energetische Bandlücke für die Lichterzeugung auf, die darüber liegenden als pn-Übergänge ausgebildeten aktiven Zonen AZ1 bis AZn weisen jeweils höhere energetische Bandlücken auf, da ansonsten die emittierte Strahlung der darunter liegenden Diode LED1 absorbiert wird,
- 10 - die Bandlücke der Halbleitermaterialien, aus dem die Trenndiode TD hergestellt wird, sollte ebenfalls höher sein als die energetische Bandlücke der darunter liegenden aktiven Zone  $AZ_x$ , da ansonsten auch dort Absorption stattfindet, wobei die Trenndiode TD idealerweise aus einem indirekten Halbleiterübergang besteht,
- epitaktisches, kristallines Wachstum der verwendeten Halbleitermaterialien auf die
- 15 darunter liegende Schicht.

Eine in Fig. 1 a schematisch dargestellte aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur 10 stellt die Grundlage dar, auf der eine Reihe von Gestaltungsmöglichkeiten aufgebaut werden können. So können z. B. Mehr-Peak-Dioden hergestellt werden, die auf einen bestimmten Anwendungsfall abgestimmt werden. Ferner können Bandemissionsdioden hergestellt werden, die von einer bestimmten Anfangswellenlänge zu einer bestimmten Endwellenlänge quasi kontinuierlich Licht emittieren. Des Weiteren können Mischfarben-LED's mit nur einem Chip hergestellt werden.

25 Im Folgenden werden weitere schematische Aufbauten von Multi-Wavelength-Dioden erläutert.

Aus der beispielhaften epitaktischen Landkarte können beispielhaft geeignete Materialsysteme entnommen werden. So kann das Substrat SUB beispielsweise als GaAs-Substrat oder als Ge-Substrat gewählt werden. Darauf eignen sich z. B. für ein epitaktisches Wachstum aktive Zonen AZ Materialien wie GaAs, GaInP (geeignete Kompositionen), AlGaAs (viele geeignete Kompositionen), GaInAs (geeignete Komposition),

AlInGaP (viele geeignete Kompositionen) oder sogar GaAsN, GaN, InN, GaInN, GaInAlN (geeignete Kompositionen), GaAlSb, GaInAlSb, CdTe, HgTe, HgCdTe, CdS, ZnSe, InSb, AlP, AlAs, AlSb, InAs, AlSb, MgSe, MgS, 6HSiC, ZnTe, CdSe, GaAsSb, GaSb, InAsN, 4H-SiC,  $\alpha$  - Sn, BN, BP, BAs, AlN, ZnO, ZnS, ZnSe, CdSe, CdTe, HgS, HgSe, PbS, PbSe, PbTe.

Auch können andere Substrate SUB verwendet werden, wie z. B. InP, GaSb, InAs, Si, GaP, Diamant, Saphir, SiGe, SiC, SiGe : C und viele mehr.

In Fig. 3 ist rein schematisch der Aufbau einer beispielhaften Bandemissionsdiode 16 dargestellt. Die Bandemissionsdiode 16 umfasst ein Substrat SUB wie GaAs- oder Ge-Substrat mit einem unteren Kontakt K1 und einer auf dem Substrat aufgewachsenen aktiven Zonen AZ1 als GaAs-Diode (untere Diode). Auf der LED1 ist eine Trenndiode TD als niederohmiger Verbindungswiderstand für die serielle Verschaltung zu der nächsten LED2 vorgesehen. Die Trenndiode TD1 besteht aus AlGaAs oder GaInP. Darüber wird die nächste aktive Zone AZ2 als pn-Übergang gewachsen (AlGaAs-Diode mit wenig Al-Gehalt). Anschließend wird wieder eine np-Trenndiode TD2 eingesetzt, so dass sich schließlich Trenndioden TD und aktive Zonen AZ abwechseln. Auf der obersten aktiven Zone AZ6 (beispielhaft) ist ein Kontakt K2 vorgesehen.

Eine spektrale Verteilung 18 ist in Fig. 3b dargestellt, die den Verlauf von sechs Peaks P1 -P6 und die daraus entstehende Einhüllende E, die gleichzeitig den Bandemissionsbereich darstellt.

Verwendet man beispielhaft eine GaAs-Diode mit einem Wellenlängenbereich  $\lambda = 870$  nm als untere aktive Zone AZ1, darauf folgend eine AlGaAs-Diode ( $\lambda$  von 875 – 625 nm einstellbar) als TD1 und darauf folgend geeignete Kompositionen im AlInGaP-Mischkristallsystem ( $\lambda$  von 650 nm bis 540nm einstellbar), so kann ein Bandemissionsbereich E von  $\lambda = 870$  nm bis 540 nm hergestellt werden. Dies bedeutet eine Bandemission von infrarot bis grün.



Dieses Konzept erlaubt auch die Herstellung von Bandemissionsdioden mit freien Bereichen, d. h. Emissionslöchern.

5 Falls die Intensität einer einzelnen aktiven Zone AZn (Leuchtdiode) - wie in Fig. 4a, b dargestellt – einen helleren bzw. intensiveren Peak 20 zeigt, besteht die Möglichkeit, unmittelbar über der aktiven Zone eine Absorptionsschicht ABS geeigneter Dicke und aus dem gleichen Material zu plazieren, aus dem die pn-Schicht AZn besteht.

10 Fig. 4b zeigt den Peak 20 ohne Absorptionsschicht und einen korrigierten Peak 22 mit Absorptionsschicht ABS.

15 Fig. 5 zeigt eine schematische Anordnung einer lichtemittierenden Halbleitereinrichtung 24, umfassend ein Substrat SUB mit darauf aufgewachsenen aktiven Zonen AZ1 – AZ 6, die über Tunnelndioden TD1 – TD5, welche zwischen den aktiven Zonen AZ1 – AZ6 angeordnet sind, seriell miteinander verschaltet sind. Die Ausführungsform der lichtemittierenden Halbleitereinrichtung 24 zeichnet sich dadurch aus, dass jede aktive Zone AZ1 – AZ6 mit einem metallischen Kontakt K1 – K6 versehen ist, mit der Möglichkeit, dass innerhalb der Halbleiterstruktur, die auch als Multi-Wavelength-Diodenstacks bezeichnet werden kann, bestimmte Wellenlängen-Peaks durch entsprechende Signale explizit ansteuerbar sind. Dadurch wird es möglich, Lichtemissionspeaks gezielt zu steuern bzw. zu regeln und zwar nach ihrer Helligkeit/Intensität, ihrer Farbe durch Auswahl der Peaks und nach bezweckter Mischfarbe oder gewünschten Bandemissionsteilbereichen.

25 Fig. 6a zeigt eine schematische Anordnung einer lichtemittierenden Halbleitereinrichtung 26, welche als Mischfarben-LED bezeichnet werden kann und in der Farbe braun leuchtet. Die beispielhafte lichtemittierende Halbleitereinrichtung 26 umfasst ein Substrat SUB als GaAs- oder Ge-Substrat. Darauf wird eine GaInP-Diode AZ1 gewachsen, welche einen Wellenlängenbereich von ca.  $\lambda = 680$  nm abdeckt. Darüber folgt eine np-Trenndiode TD1. Vorzugsweise ist die Trenndiode TD1 mehrschichtig ausgebildet mit einem höheren energetischen Bandgap als die darunterliegende AZ1 und dient als niederohmiger Verbindungswiderstand für die serielle Verschaltung zum weiteren pn-

30

Übergang AZ2, der im Materialsystem AlInGaP eine Wellenlänge  $\lambda$  von ca. 590 nm ausgebildet ist. Schließlich wird wieder eine np-Trenndiode TD2 gewachsen und darauf wiederum ein dritter pn-Übergang als aktive Zone AZ3, welche mit dem Material AlInGaP mit einem Wellenlängenbereich  $\lambda$  von ca. 550 nm ausgebildet ist.

5

Der Fig. 6b ist eine Spektralverteilung 28 zu entnehmen, die den Verlauf von drei Farb-Peaks 30, 32, 34 zeigt, die für das menschliche Auge den Eindruck einer „braun-LED“ darstellt. Da es verschiedene Brauntöne gibt, kommt es im Wesentlichen auf die verwendete Wellenlänge und die entstehende Intensität der Emissions-Peaks 30, 32, 34 an. Der braune Eindruck kann mehr rötlich, gelblich oder grünlich gestaltet werden.

10

Fig. 7a zeigt den schematischen Aufbau einer Mischfarben-LED 36 zur Abgabe von weißem Licht. Die Mischfarben-LED 36 umfasst ein Substrat SUB, auf dem eine untere aktive Zone AZ1 aus AlInGaP-Material (Farbe rot) aufgewachsen ist, gefolgt von einer Tunnelodiode TD1 aus AlInGaP-Material mit hohem Bandgap, einer mittleren aktiven Zone AZ2 aus AlInGaP-Material (Farbe grün), einer weiteren Tunnelodiode TD2 aus AlInGaP-Material (höheres energetisches Bandgap) und einer oberen aktiven Zone AZ3 aus GaInN-Material, oder AlGaInN-Material in einem Wellenbereich von  $\lambda$  ca. 400 nm bis 450 nm.

15

20

Eine Spektralverteilung 38 ist in Fig. 7b dargestellt und umfasst drei Farben-Peaks 40, 42, 44, die für das menschliche Auge den Eindruck einer LED mit der Farbe „weiß“ erzeugen.

25

Da es viele Weiß-Eindrücke gibt, ist die verwendete Wellenlänge und die entsprechende Intensität der Emissions-Peaks 40, 42, 44 von entscheidender Bedeutung. Der weiße Eindruck kann mehr rötlich, grünlich oder bläulich gestaltet werden.

30

Des Weiteren kann der weiße Farbeindruck mit jeder Farbe der Normfarbtafel erzeugt werden, deren direkte Verbindungsstrecke durch den Weißpunkt läuft (bei zwei Farben). Werden drei Farben verwendet, wird ein Farbdreieck in der Normfarbtafel aufgespannt. Je nach Verwendung der Farbe und deren Intensität kann auch hierbei der ge-

wünschte Weißpunkt erlangt werden. Nach dem oben genannten Prinzip sind nahezu beliebig viele Mischfarben möglich. Die Variation der Farben/Wellenlänge und deren Intensität müssen nach dem gewünschten Farbton abgestimmt werden.

5 Fig. 8a zeigt rein schematisch einen Aufbau eines Mischfarben-Sensors 46, wobei die aktiven Zonen PD1 – PD3 als Photodioden ausgebildet sind. Der Mischfarben-Sensor 46 umfasst ein Substrat SUB, an dessen Unterseite ein erster elektrischer Kontakt K1 angebracht ist. Auf einer Oberseite des Substrats SUB ist beispielhaft eine erste aktive Zone PD1 als GaInP- oder AlInGaP-Photodiode aufgewachsen, welche einen Wellenlängenbereich  $\lambda$  von ca. 600 nm bis 680 nm abdeckt. Die Bandlücke des Materials sollte etwas langwelliger sein, als das zu detektierende Licht. Auf einer im Bereich der Oberseite der Photodiode PD1 ist ein elektrisch leitender Kontakt K1 angebracht und auf einem weiteren Oberflächenbereich ist eine np-Trenndiode TD1 aus AlInGaP-, AlGaAs- oder GaInP-Material angeordnet, die als niederohmiger Verbindungswiderstand für die serielle Verschaltung zum zweiten pn-Übergang dient. Über die Trenndiode TD1 wird eine weitere Photodiode PD2 gewachsen, die als AlInGaP-Diode in einem Wellenbereich von  $\lambda =$  ca. 550 nm bzw. etwas langwelliger ausgebildet ist. Darauf ist wiederum eine np-Trenndiode TD2 und anschließend eine weitere Photodiode PD3 als GaInN-Diode mit einem Wellenlängenbereich im Bereich  $\lambda$  von 400 bis 450 nm aufgewachsen. Die spezifische Wellenlänge einer RGD-weiß-LED werden selektiv in den Photodioden-Schichten PD1 – PD3 absorbiert und erzeugen ein elektrisches Signal, welches ausgelesen und ausgewertet werden kann. Entsprechende Intensitäten von Signalen 48, 50, 52 sind der Intensitätsverteilung gemäß Fig. 8b zu entnehmen. Nach dem oben genannten Prinzip sind nahezu beliebig viele Mischfarben-Sensoren möglich.

Wie bereits zuvor erläutert, können die Mehr-Peak-Dioden bzw. Multi-Wavelength-Dioden mit Trenndiodenkontakten TD1 – TDn oder mit leitfähigen Kontakten LK seriell verbunden werden, was am Beispiel einer weiß leuchtenden RGB-Diode 54 gemäß Fig. 9a beschrieben wird. Die Mischfarben-LED 54 besteht aus einem Substrat SUB, mit einem Kontakt K1 an seiner Unterseite und einer unteren aktiven Zone AZ1, gefolgt von einer Trenndiode TD1 und einer mittleren aktiven Zone AZ2, falls es ein be-

stimmten Materialsystemen nicht möglich ist, auf ein darunterliegendes System aufzuwachsen, z. B. wegen zu großer Gitterfehlانpassung, Kristallstruktur, Wachstumstemperaturen usw., kann ein leitfähiger Kontakt LK wie z. B. Metallkontakt als serielle Verschaltung verwendet werden. Mittels Chip-on-Chip-Bonding kann dieser z. B. geklebt, gelötet, gebondet, geschweißt oder gedrückt werden, wodurch ein Kontakt zwischen den beiden Chips ermöglicht wird. Ein aus dem Substrat (SUB), der aktiven Zone AZ1, Trenndiode TD1 und mittlerer Leuchtdiode AZ2 bestehender Dioden-Stack 58 ist nur mit einem Bond-Kontakt BK an der Oberfläche versehen. Ein weiterer Chip 56, umfassend ein Substrat SUB und eine Leuchtdiode mit der aktiven Zone AZ3, wird mit an seiner Unterseite angeordneten metallischen Kontakt K mit dem Bondkontakt BK des unteren Chips 58 verbunden, so dass ein gleitender Übergang entsteht.

Beispielsweise ist der Aufbau des unteren Chips dadurch gekennzeichnet, dass auf einem Substrat wie GaInP- oder AlInGaP-Diode als Leuchtdiode AZ1 aufgewachsen ist, mit einer Wellenlänge  $\lambda$  im Bereich von 600 nm bis 680 nm (rot). Darüber wird die np-Trenndiode TD1 aus AlInGaP-, AlGaAs- oder GaInP-Material gewachsen, die als niederohmiger Verbindungswiderstand für die serielle Verschaltung zum mittleren pn-Übergang AZ2 führt. Der mittlere pn-Übergang als Leuchtdiode LED2 ist als AlInGaP-Diode mit einer Wellenlänge  $\lambda$  im Bereich von 550 nm (grün) ausgebildet. Die Leuchtdiode AZ2 ist mit dem leitfähigen BK versehen. Durch diesen Chip 58 wird der obere Chip 56 befestigt, wie beispielsweise geklebt, gelötet, gebondet, geschweißt, gedrückt usw., wobei dieser die Farbe blau emittieren kann und beispielsweise aus einem Material wie GaInN-, AlGaInN- oder GaN- Material mit transparentem oder leitfähigem Substrat besteht. Die Diode AZ3 des oberen Chips 56 weist eine Wellenlänge  $\lambda$  im Bereich von ca. 400 bis 450 nm auf.

Eine Spektralverteilung 60 ist in Fig. 9b dargestellt und zeigt den Verlauf von 3-Farb-Peaks 62, 64, 66, die für das menschliche Auge den Eindruck einer weißen Farbe vermitteln.

Da es viele weiß-Kombinationen gibt, kommt es auch hier auf die verwendete Wellenlänge und die entstehende Intensität des Emissions-Peaks an. Der weiße Eindruck kann mehr rötlich, grünlich oder bläulich gestaltet werden.

5 Der weiße Farbeindruck kann mit jeder Farbe der Normfarbtafel erzeugt werden, deren direkte Verbindungsstrecke durch den Weißpunkt läuft (bei 2 Farben). Wenn drei Farben verwendet werden, wird ein Farbdreieck in der Normfarbtafel aufgespannt. Je nach Verwendung der Farbe und deren Intensität kann man auch hier an den gewünschten Weißpunkt gelangen. Nach diesen Prinzipien sind viele Mischfarben möglich zu realisieren. Die Variation der Farbe/Wellenlänge und der Intensität müssen für den gewünschten Farbton abgestimmt werden.

10 Eine weitere Ausführungsform einer lichtemittierenden Halbleitereinrichtung 68 ist in Fig. 10 dargestellt. Diese ermöglicht es, dass innerhalb des Strukturaufbaus bestimmte Intensitäten von Einzel-Peaks parzelliert werden und über die Flächenerhöhung bzw. Flächenvergrößerung eine Intensitätssteigerung ermöglicht wird. Zudem kann auch dadurch zum gesamten Aufbau auch nur ein Teilbereich des gewachsenen Aufbaus mit einem elektrischen Signal versorgt werden.

20 Auf einem Substrat SUB mit einem an der Unterseite angeordneten Kontakt K1 sind der gesamte Diodenaufbau 70 aufgewachsen. Durch technologische Trennung und technologischen Abtrag der gewachsenen Strukturen kann man einen verringerten Diodenaufbau 72 erhalten. Der erste Diodenaufbau 70 besteht aus einer Abfolge von Leuchtdioden AZ1 – AZ5, welche über Trenndioden TD1 – TD5 seriell miteinander verschaltet sind. Auf der obersten AZ5 ist ein Kontakt K2 aufgebracht.

25 Der Diodenaufbau 72 umfasst ferner parallel zu den Diodenschichten des Diodenstacks 70, Leuchtdioden AZ1 – AZ3 getrennt durch Trenndioden TD1, TD2. An der oberen Leuchtdiode AZ3 ist ein Kontakt K3 vorgesehen.

30 Durch diese Anordnung kann eine Erhöhung der Intensität aus Leuchtdiode AZ 1, AZ2 und Leuchtdiode AZ3 durch partielle Flächenvergrößerung erreicht werden.

5 Eine alternative Ausführungsform umfasst einen Strukturaufbau 74, wobei auf einem Substrat SUB zwei Diodenaufbauten 76, 78 angeordnet sind. Dabei besteht der Diodenstack, wie bereits zuvor erläutert, aus einer Abfolge von beispielsweise fünf Leuchtdioden AZ1 – AZ5, die jeweils über eine Trenndiode TD1 – TD5 verschaltet sind.

10 Der Diodenaufbau 78 besteht aus Leuchtdioden AZ1, AZ2, die über Trenndioden TD1 und TD2 seriell verschaltet sind. Der Strukturaufbau 74 zeichnet sich dadurch aus, dass durch den Teilbereich 78 das emittierende Licht zusätzlich mit einem elektrischen Signal versehen werden kann.

15 Die zuvor beschriebenen technologischen Varianten ermöglichen, dass innerhalb des Strukturaufbaus 68, 74 bestimmte Intensitäten-Peaks parzelliert werden können. Über die Flächenerhöhung kann zudem eine Intensitätssteigerung ermöglicht werden. Auch kann dadurch zum gesamten Aufbau 70, 72 bzw. 76, 78 ein Teilbereich mit einem elektrischen Signal versehen werden.

20 Alle zuvor aufgeführten systematischen und technologischen Varianten können in Chip-Bauweise (dies) oder als Display angewandt werden. Der schematische Aufbau eines Farbdisplays 80 ist beispielsweise in Fig. 12 dargestellt, umfassend ein Grundsubstrat SUB mit einem unteren Kontakt K1, wobei jeder Pixel 82 sogar entsprechende Farben selektiv ansteuerbar sind.

25 Die Pixel 82 umfassen dabei eine Struktur der oberen im Zusammenhang mit Fig. 1 – 11 beschriebenen Ausführungsformen. Dabei wird von einem RGB-Chip ausgegangen. Durch diese Display-Bauweise können Bildschirme hergestellt werden, die sehr hell leuchten und durch sehr kleine Pixel-Bauweise eine sehr hohe Auflösung aufweisen.

30 Das Prinzip der Multi-Wavelength-Diode kann für die vielfältigsten Anwendungen eingesetzt werden, z. B.:

- im Beleuchtungsbereich durch die Herstellung von sehr hellen weißen LED's und Mischfarben-LED's mittels eines Chips,
- die Multi-Wavelength-Photodioden (Sensoren) zur Überwachung von Mischfarben-Licht eingesetzt und detektieren die Zusammensetzung des Lichtspektrums,
- 5 - Bandemissionsdioden in der Sensorik (Spektralanalyse, Farbmessung und vieles mehr),
- das Ein-Chip-Design kann nach individuellen Anforderungen gefertigt werden,
- für kleine und mittelgroße Bildschirmdisplays mit sehr hoher Auflösung und Lichtstärke,
- 10 - zur Datenübertragung von verschiedenfarbigen Signalen bei gleicher Übertragungsfrequenz (Glasfaser-Übertragung) u. v. m.

## Patentansprüche

Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur wie Leuchtdiode oder Photodiode

- 5           1.       Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur wie Leuchtdiode oder Photodiode (10, 16, 24, 26, 36, 46, 54, 68, 74, 80), umfassend ein Substrat (SUB) mit zumindest zwei aktiven Zonen (AZ1 – AZn), von denen jede eine Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge emittiert oder absorbiert,

10           dadurch gekennzeichnet,

              dass eine erste (untere) aktive Zone (AZ1) auf eine Oberfläche des Substrates (SUB) aufgewachsen ist,

              dass ein oder mehrere weitere aktive Zonen (AZ1 – AZn) übereinander epitaktisch aufgewachsen sind und

15           dass die aktiven Zonen (AZ1 – AZn) über als niederohmige Widerstände dienende Trennschichten (TD1 – TDn) von der unteren aktiven Zone (AZ1) bis zu einer oberen aktiven Zone (AZn) seriell verschaltet sind.
- 20           2.       Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

              dass die Trennschicht (TD) eine als entgegenspolarisierter np- oder pn-Übergang ausgebildete Trenndiode bzw. Tunnelodiode (TD) ausgebildet ist, welche epitaktisch auf das Substrat (SUB) aufgewachsen ist.
- 25           3.       Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

              dass die Trennschicht (TD) als metallischer Kontakt (K) ausgebildet ist.
- 30           4.       Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

              dass die unterste aktive Zone (AZ1) eine geringere energetische Bandlücke aufweist als die darüber liegenden aktiven Zonen (AZ2 – AZn).



5. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
5 dass die zum Aufwachsen bzw. Epitaxieren der Trenndioden (TD) verwendeten Halbleitermaterialien entweder einen indirekten Bandübergang aufweisen oder das energetische Bandgap etwas höher liegt als die darunter liegenden verwendeten Materialien.
- 10 6. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Material des Substrates (SUB) GaAs, Ge, InP, GaSb, GaP, InAs, Si, SiGe, SiC, SiGe : C, Saphir, Diamant und andere ist.
- 15 7. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 dass das Material der aktiven Zonen (AZ1 – AZn) GaAs, GaInP (geeignete Kompositionen), AlGaAs (viele geeignete Kompositionen), GaInAs (geeignete Kompositionen), AlInGaP (viele geeignete Kompositionen), GaAsN, GaN, GaInN, InN, GaInAlN (geeignete Kompositionen), GaAlSb, GaInAlSb, CdTe, MgSe, MgS, 6HSiC, ZnTe, CgSe, GaAsSb, GaSb, InAsN, 4H-SiC,  $\alpha$  – Sn, BN, BP, BAs, AlN, ZnO, ZnS, ZnSe, CdSe, CdTe, HgS, HgSe, PbS, PbSe, PbTe, HgTe, HgCdTe, CdS, ZnSe, InSb, AlP, AlAs, AlSb, InAs und/oder AlSb ist  
25 oder eine oder mehrere dieser Materialien enthält.
- 30 8. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine lichtemittierende Halbleitereinrichtung (10) mit zwei aktiven Zonen (AZ1, AZ2) (Zwei-Peak-Diode) umfasst:

- ein GaAs- oder Ge-Substrat (SUB),
- eine auf das GaAs- oder Ge-Substrat (SUB) aufgewachsene GaAs-Diode (AZ1) (untere Diode),
- eine auf die GaAs-Diode (AZ1) aufgewachsene GaInP-Trenndiode (TD1) und
- eine auf die Trenndiode aufgewachsene GaInP-Diode (AZ2) (obere Diode).

9. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass eine Bandemissionsdiode (16) folgenden Aufbau umfasst:

- ein GaAs- oder Ge-Substrat (SUB),
- eine auf das Substrat aufgewachsene GaAs-Diode (AZ1) (untere Diode),
- darüber in abwechselnder Reihenfolge eine auf die GaAs-Diode (AZ1) aufgewachsene Trenndiode wie GaInP-Trenndiode (TD) bzw. AlGaAs-Trenndiode (TD1 ... TDn) gefolgt von einer auf die Trenndiode aufgewachsenen GaInP-Diode (AZ3) bzw. AlGaAs-Diode (AZ3-AZn),

wobei die Anzahl der Dioden (AZ1 – AZn) die Anzahl der Peaks einen Bandemissionsbereich definiert.

10. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass auf eine aktive Zone (AZn) eine Absorptionsschicht (AbsS) mit gleichem Material der pn-Schicht der aktiven Zone (AZn) aufgewachsen ist.

11. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die einzelnen aktiven Zonen (AZ1 – AZn) jeweils mit einem eigenen metallischen Kontakt (K) zum Anschluss einer Zuleitung versehen sind.

12. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass eine Mischfarben-LED (26) (braun) folgenden Aufbau umfasst:

- ein GaA- oder Ge-Substrat (SUB),
- eine auf das Substrat aufgewachsene untere aktive Zone (AZ1) aus z. B. GaInP (auch AlGaInP),
- eine erste auf die untere aktive Zone aufgewachsene Trenndiode (TD1) aus GaInP oder AlGaInP,
- eine auf die Trenndiode aufgewachsene mittlere aktive Zone (AZ2) aus AlInGaP,
- eine zweite Trenndiode (TD2) und
- eine auf die zweite Trenndiode aufgewachsene obere aktive Zone (AZ3) aus AlInGaP.

13. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass eine Mischfarben-LED (36) folgenden Aufbau umfasst:

- ein GaAa- oder Ge-Substrat (SUB),
- eine auf das Substrat aufgewachsene untere aktive Zone (AZ1) gefolgt von zwei weiteren aktiven Zonen (AZ2 – AZn) zwischen denen jeweils eine Tunneldiode (TD1 – TDn) angeordnet ist und wobei die obere aktive Zone (AZn) einen metallischen Kontakt (K) zur Verbindung mit einem elektrischen Anschluss aufweist.

14. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die untere aktive Zone (AZ1) aus einem AlInGaP-Material mit einer Wellenlänge von ca. 620 nm ist, dass die mittlere aktive Zone (AZ2) ein AlInGaP-Halbleitermaterial mit einer Wellenlänge von ca. 550 nm ist und dass die obere

aktive Zone (AZ3) ein GaInN-Halbleitermaterial mit einer Wellenlänge im Bereich von ca. 400 bis 450 nm ist.

- 5 15. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der zwischen den aktiven Zonen (AZ1 – Azn) angeordnete Metallkontakt (K, BK, LK) geklebt, gelötet, gedrückt, gebondet oder geschweißt ist.
- 10 16. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass einer obersten aktiven Zonen (AZn) einen Kontakt (BK) wie Bond-Kontakt aufweist.
- 15 17. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die aktiven Zonen (AZ1 – Azn, PD1 – PDn) aufweisende Halbleiterstruktur (46) ein Mischfarbensensor ist, wobei die aktiven Zonen (PD1 – PDn) als Photodioden ausgebildet sind.
- 20 18. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Mischfarbensensor (46) den folgenden Aufbau aufweist:
- ein GaAs- oder ein Ge-Substrat (SUB) auf dessen Unterseite ein metallischer Kontakt (K) und auf dessen Oberseite eine GaInP- oder AlInGaP-Photodiode (PD1) aufgebracht wie aufgewachsen ist,
  - 30 - dass auf der Photodiode eine np-Trenndiode (TD1) aus einem AlInGaP-, AlGaAs- oder GaInP-Material aufgebracht ist,
  - ein zweiter pn-Übergang aus einer AlInGaP-Photo-Diode (PD2),

- eine np-Trenndiode (TD2) und
- ein dritter pn-Übergang als die GaAlN- oder AlGaInN-Photodiode (PD3).

5 19. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die erste Photodiode (PD1) in einem Wellenbereich von  $\lambda = 600$  nm bis 680 nm liegt, dass die mittlere Photodiode (PD2) in einem Wellenbereich von  $\lambda = 550$  nm liegt und dass die dritte Photodiode (PD3) in einem Wellenbereich von  $\lambda = 400$  nm bis 450 nm liegt.

10 20. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass jede der lichtdetektierenden Photo-Dioden (PD1 – PDn) mit einem metallischen Kontakt (K) zum Anschluss einer elektrischen Leitung versehen ist.

21. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 dadurch gekennzeichnet,

dass die aktiven Zonen aufweisende Halbleiterstruktur wie Leuchtdiode oder Photodiode ein Farbdisplay (80) bilden.

22. Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

25

dadurch gekennzeichnet,

dass das Farbdisplay (80) aus einer Vielzahl von lichtemittierenden Halbleitereinrichtungen (82) gemäß zumindest einem der Ansprüche 1 bis 21 ausgebildet ist, wobei ein Pixel (82) des Farbdisplays (80) einer lichtemittierenden Halbleitereinrichtung entspricht und wobei jeder Pixel (82) und die entsprechenden Farben selektiv ansteuerbar sind.

30

## 5 Zusammenfassung

### Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur

10 Die Erfindung bezieht sich auf eine Aktive Zonen aufweisende Halbleiterstruktur wie  
Leuchtdiode oder Photodiode (10, 16, 24, 26, 36, 46, 54, 68, 74, 80), umfassend ein  
Substrat (SUB) mit zumindest zwei aktiven Zonen (AZ1 – AZn), von denen jede eine  
Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge emittiert oder absorbiert. Zur Realisierung ei-  
ner Multi-Wavelength-Diode ist vorgesehen, dass eine erste (untere) aktive Zone (AZ1)  
15 auf eine Oberfläche des Substrates (SUB) aufgewachsen ist, wobei ein oder mehrere  
weitere aktive Zonen (AZ1 – AZn) übereinander epitaktisch aufgewachsen sind und  
wobei die aktiven Zonen (AZ1 – AZn) über als niederohmige Widerstände dienende  
Trennschichten (TD1 – TDn) von der unteren aktiven Zone (AZ1) bis zu einer oberen  
aktiven Zone (AZn) seriell verschaltet sind.

20

Fig.1

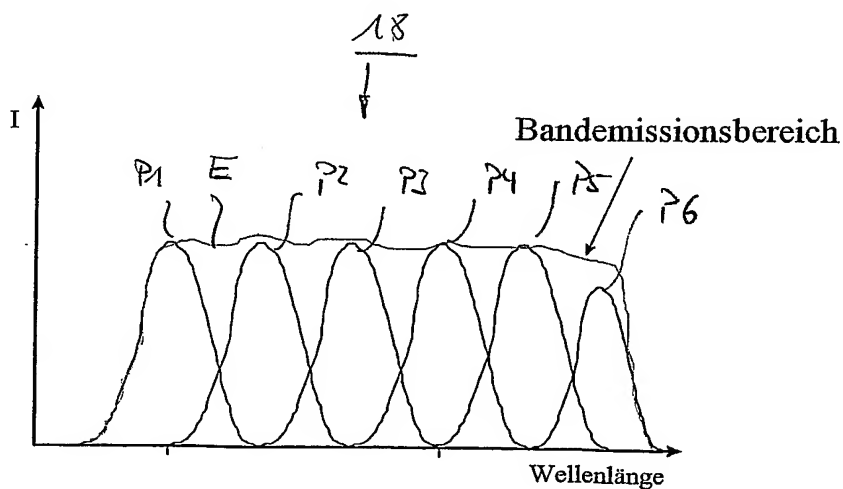
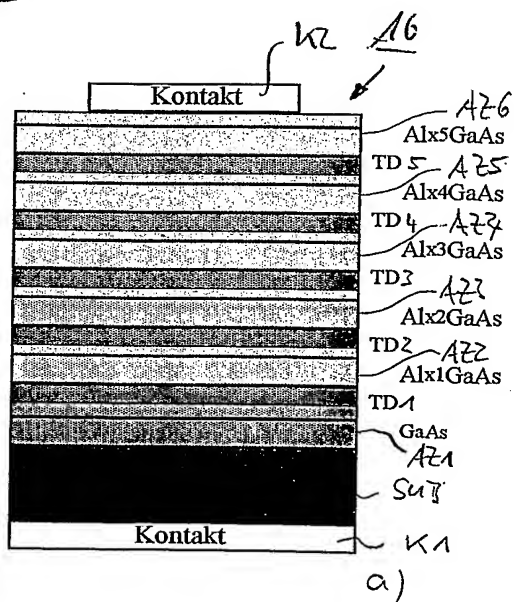
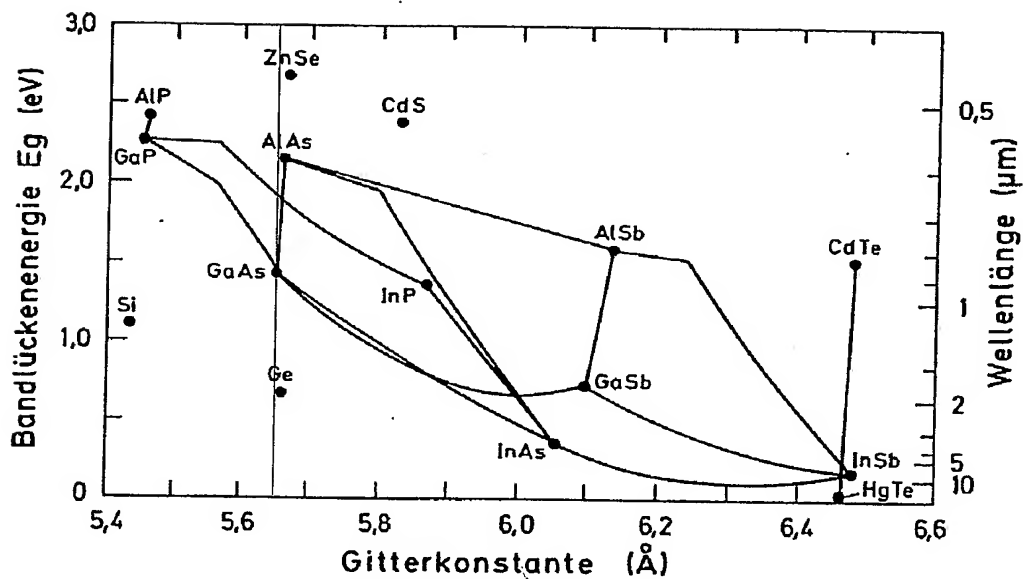
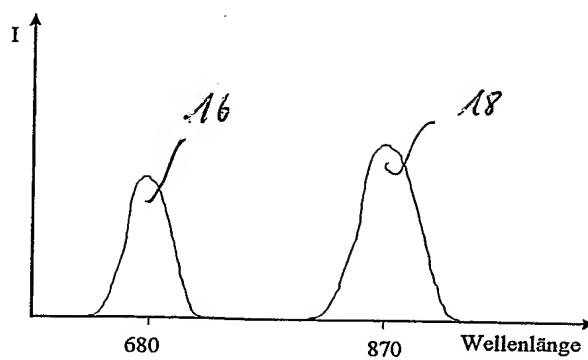
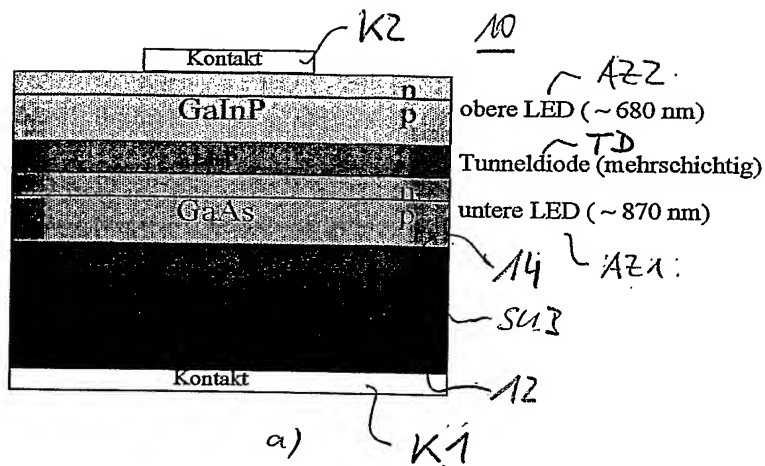
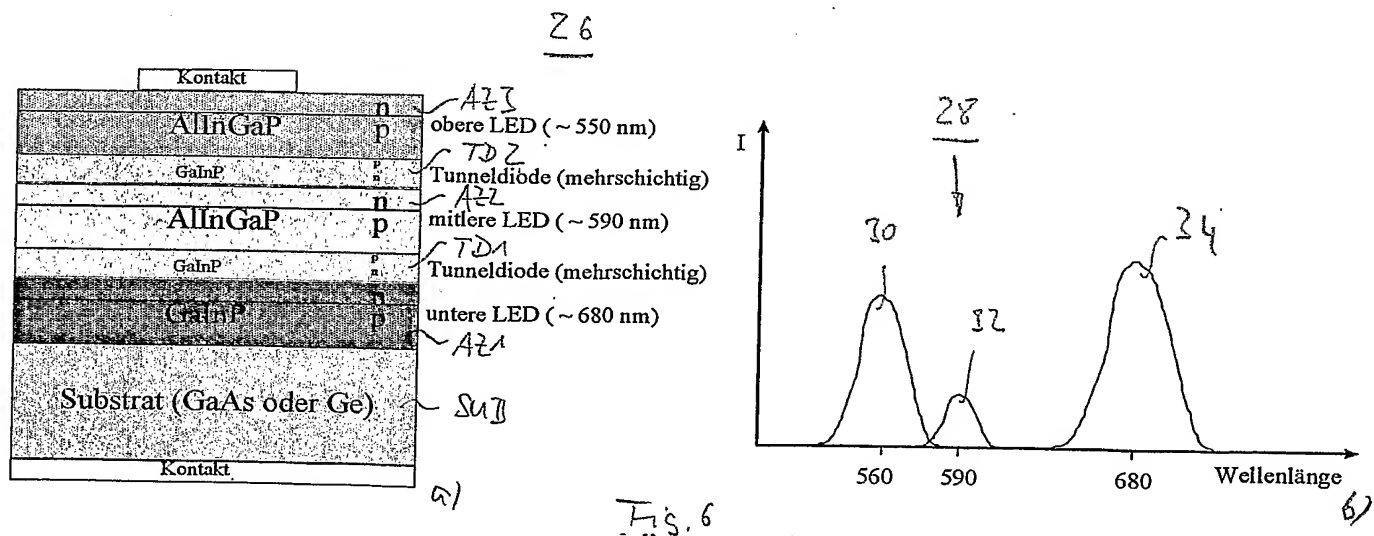
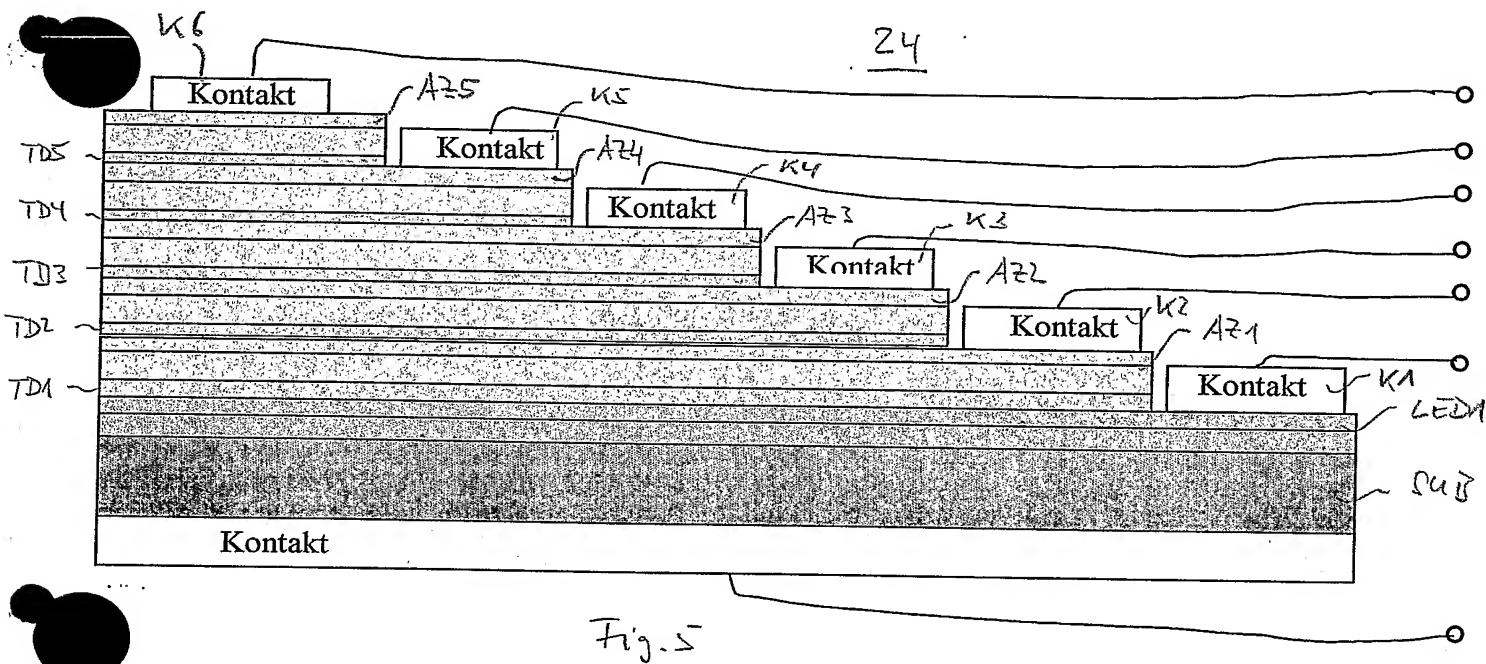
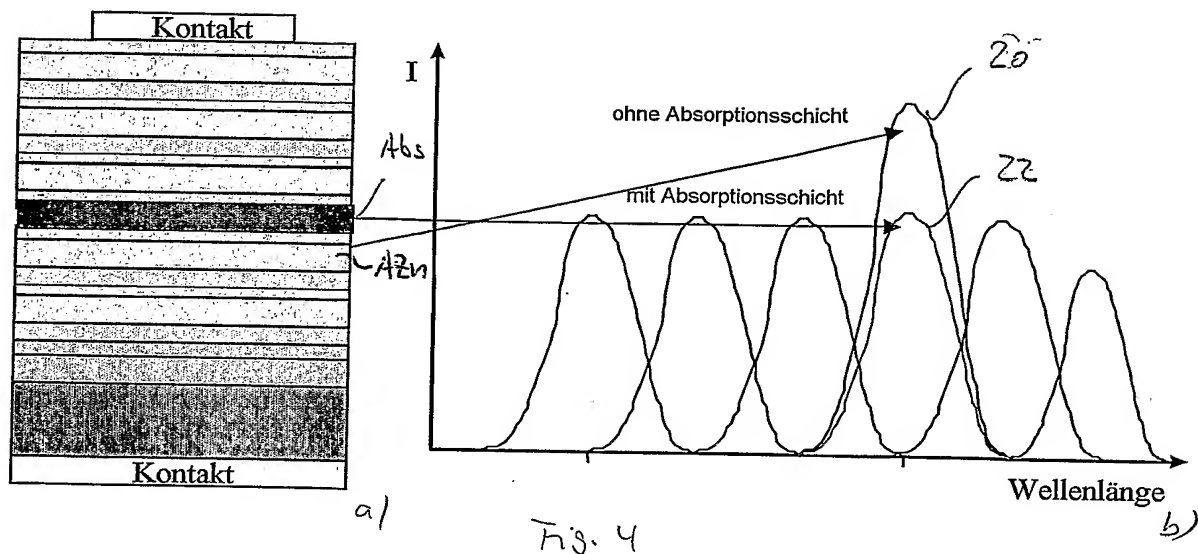


Fig. 1





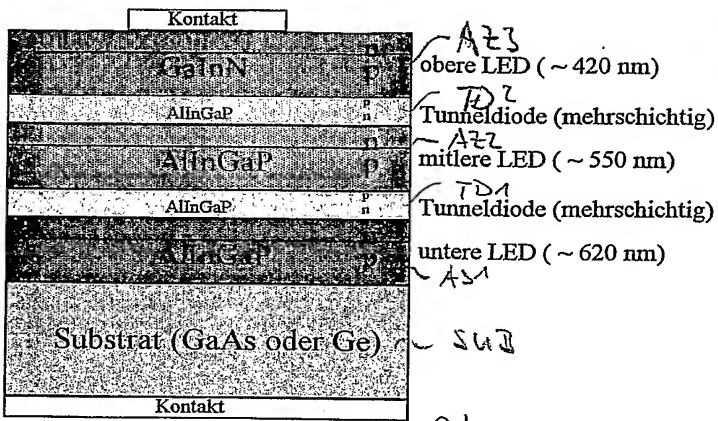
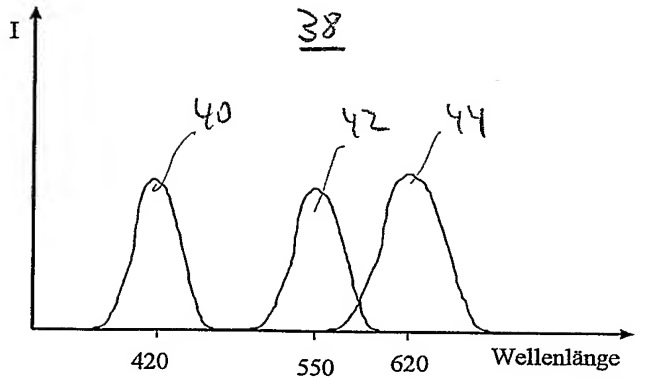


Fig. 7



6)

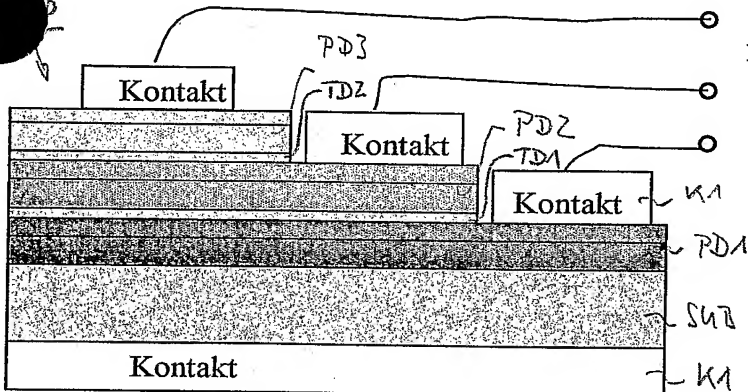
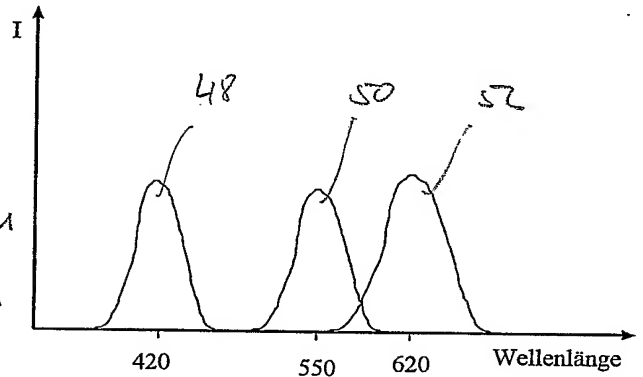


Fig. 8



5)

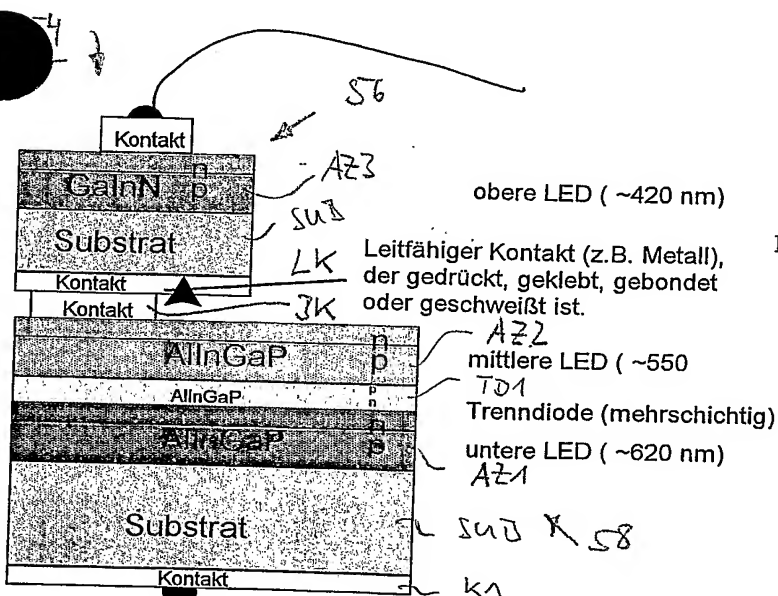
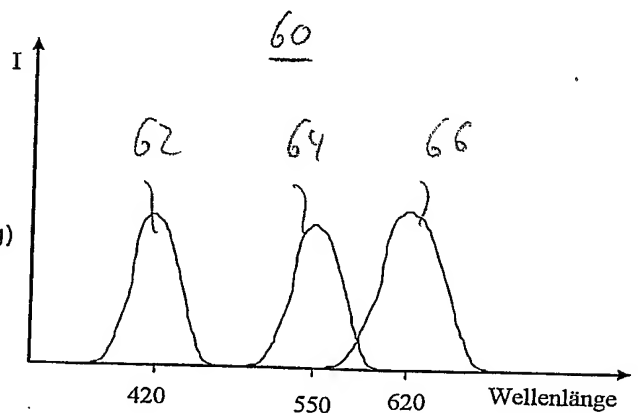


Fig. 2



6)

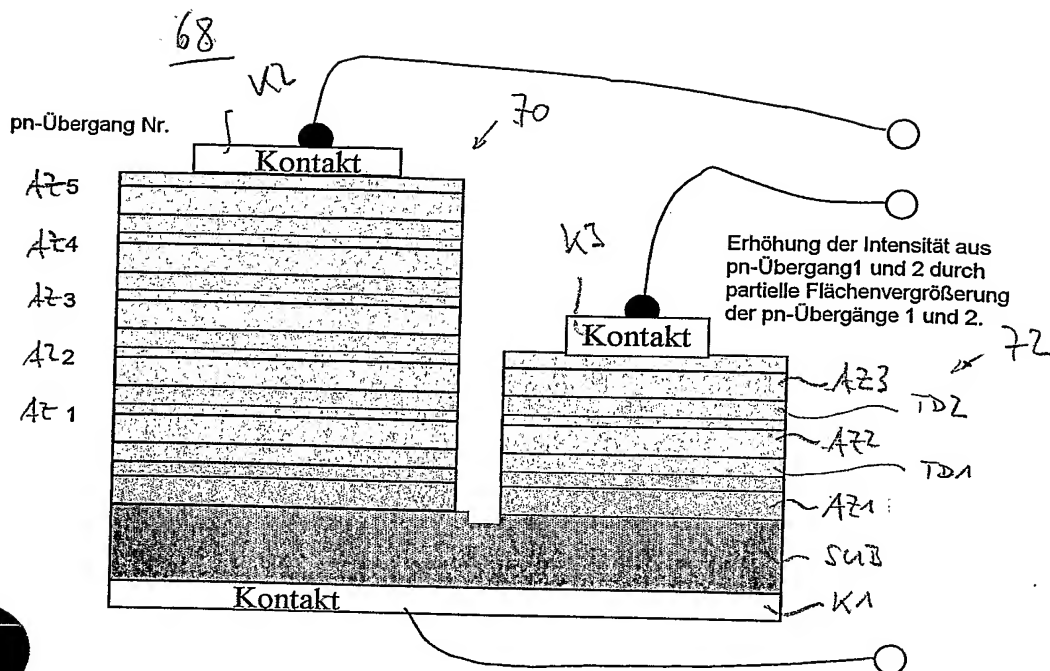


Fig. 10

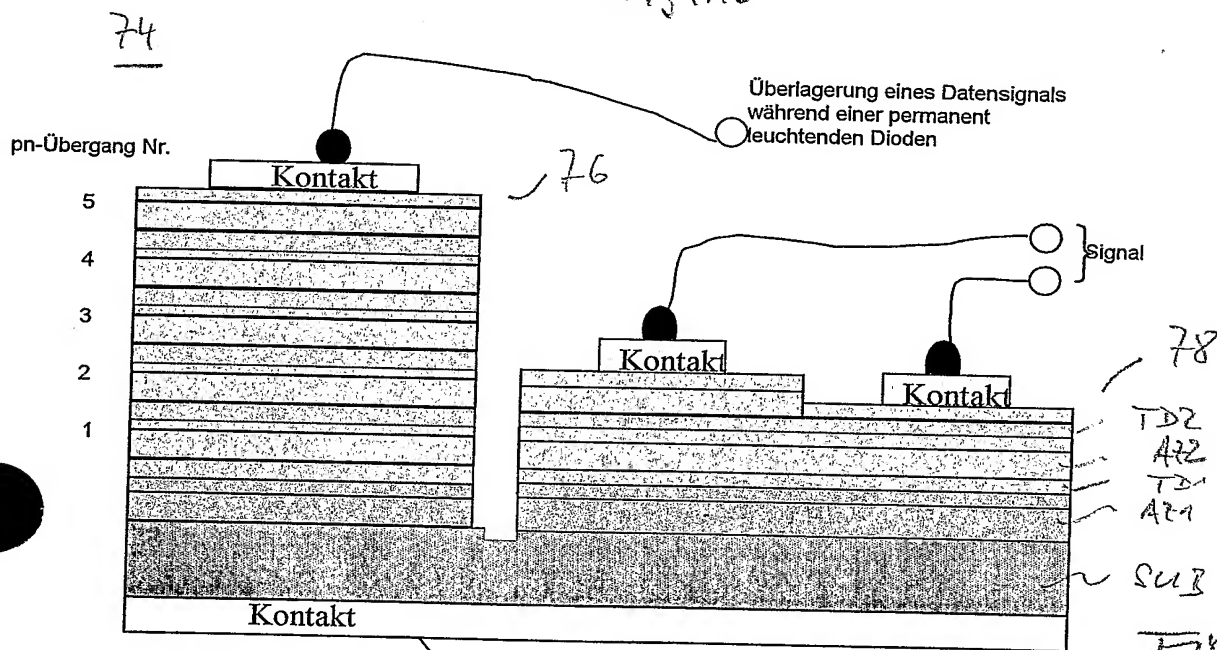


Fig. 11

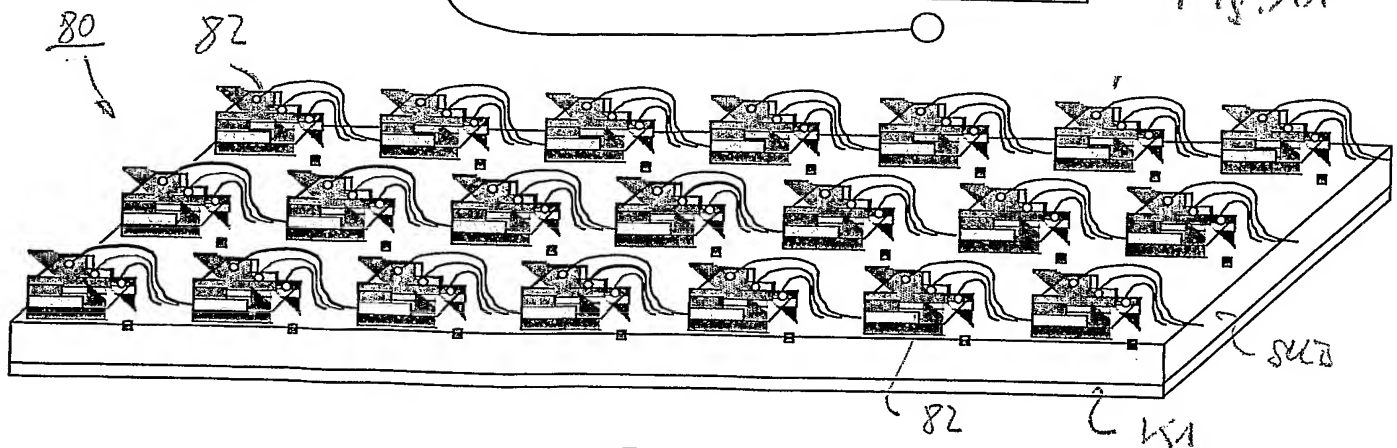


Fig. 12

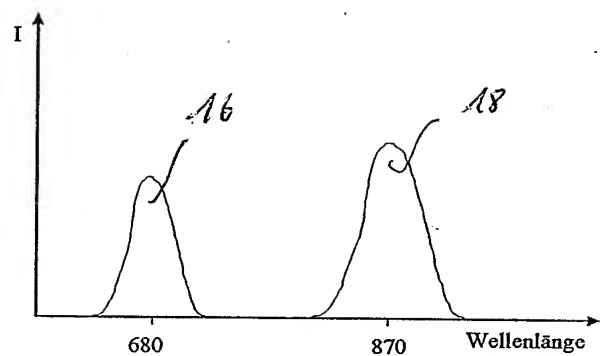
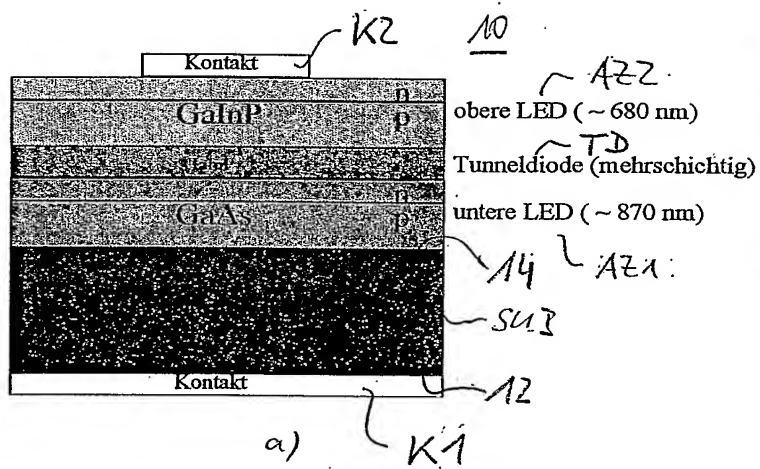


Fig. 1